

新课程标准理念下的高中生物学建模教学策略

赵萍萍^{1,2} 刘恩山^{2*}

(1 河北师范大学生命科学学院 河北石家庄 050024 2 北京师范大学生命科学学院 北京 100875)

摘要 《普通高中生物学课程标准(2017年版)》强调发展学生的科学思维等4个方面的核心素养,建模教学策略在促进模型与建模等科学思维方面发挥重要作用。以人教版高中生物学《遗传与进化》模块为例,从生物学学科核心素养的视角剖析建模教学策略在促进素养达成中的具体实施过程和作用,旨在帮助教师理解如何通过建模教学将发展核心素养落实到具体的课程中,为教学提供参考。

关键词 新课程标准 生物学学科核心素养 高中生物学 建模教学

中国图书分类号:G633.91 中国图书分类号:A

《普通高中生物学课程标准(2017年版)》(以下简称“新课程标准”)明确提出生物学学科核心素养包括生命观念、科学思维、科学探究和社会责

任^[1]。教师如何在新课程标准的指导下,促进学生逐步发展、完善并最终达成这4个维度的核心素养,成为当下生物学教育研究者和一线教师亟待

失,在纹饰顶端松散地附着许多大小不一的小球颗粒(图16~图18,箭头示小球)。

通过观察并结合文献^[6],本文从无性生殖角度分析^[2,7],紫萁具有如下原始特征:

①孢子囊及囊群盖:孢子囊大型,无囊群盖,具盾状环带,孢子叶上的孢子囊同时发育,孢子囊纵向开裂。

②孢子数量:孢子数量多,每个囊内有数百个孢子。

③孢子形态:孢子同型,近球形,具三裂缝,为辐射对称的四面体型;在这些特征上紫萁与石松类的石松属(*Lycopodium*)植物孢子相似^[8]。

④孢子纹饰及发育:孢子表面具由外壁形成的棒状纹饰,周壁仅薄薄的一层覆盖在表面^[6],在表面纹饰形成过程中经历了光滑、疣状、条状和棒状纹饰等阶段,以及在棒状纹饰顶端依次出现小刺和小球,纹饰形成过程复杂。紫萁的孢子纹饰来源与石松属、卷柏属(*Selaginella*)和水韭属(*Isoetes*)相同;石松属和卷柏属孢子有或无周壁,水韭属孢子具薄而透明的周壁^[8]。

除了在无性生殖方面,紫萁在配子体和幼孢子体发育阶段也表现出了原始性^[9]。在2016年分类系统中,紫萁科处于薄囊蕨纲的基部类群^[10],

而化石证据显示,紫萁科最早的化石记录可以追溯到3亿年前^[3]。可见,紫萁科是真蕨类植物中古老的代表类群之一。

主要参考文献

- [1] 毛健民.被子植物花的无性生殖作用.生物学通报,1992,17(10):19.
- [2] 吴兆洪,秦仁昌.中国蕨类植物科属志.北京:科学出版社,1991.
- [3] 田宁,王永栋,蒋子堃,等.紫萁科植物:漫长演化历史的见证者.大自然,2015,(4)[A1]:44.
- [4] 中国科学院中国植物志编辑委员会.中国植物志.2卷.北京:科学出版社,1959.
- [5] 徐皓.紫萁的药用及食用价值.亚热带植物科学,2005,34(3):82.
- [6] Bernard Lugardon, Henri Gaussen. Cytologie végétale: Sur la formation de l'exospore chez *Osmunda regalis* L. C. R. Acad. Sc. Paris, 1969, 268(6): 2879.
- [7] 王全喜,戴锡玲.中国水龙骨科(真蕨目)植物孢子形态的研究.北京:科学出版社,2010.
- [8] 中国科学院北京植物研究所古植物研究室孢粉组.中国蕨类植物孢子形态.北京:科学出版社,1976.
- [9] 曹建国,代小菲,李新国,等.2种培养基下紫萁配子体发育及孢子体形成的研究.西北植物学报,2011,31(7):1297.
- [10] Eric Schuettelpelz, Harald Schneider, Alan R Smith, et al. A community-derived classification for extant lycophytes and ferns. Journal of systematics and evolution, 2016, 54(4): 563. (E-mail: daixiling2010@shnu.edu.cn)

* 通信作者

思考和解决的问题。建模教学策略作为近几年全球科学教育领域的研究热点之一,其让学生通过建模活动深入理解知识形成过程的理念,成为当前课堂上促进学生生物学学科核心素养,尤其是科学思维能力提升的重要教学策略之一^[2-3]。

本研究主要以人教版高中生物学《遗传与进化》模块,及其第 3 章第 2 节“DNA 分子的结构”内容为例,结合实际教学,阐述如何恰当地使用建模教学策略以发展学生生物学学科核心素养。

1 建模教学策略简介

研究认为凡是涉及模型构建、模型使用、模型评价和修正的教学都称之为建模教学^[4]。建模教学和建模历程密切相关。由于建模历程具有过程性、复杂性、多因素性等特点,以建模为核心教学

活动的建模教学也因此呈现较为复杂、较难掌控等特点^[5]。研究者认为基于学生认知发展的规律,建模教学策略实施之初,教师可采用示范如何建模为主的教学形式,将建模的主要步骤潜移默化地渗透到教学中。随后待学生逐渐熟悉和理解这些步骤,教师就可采用以学生构建模型为主、教师引导为辅的教学形式。

1.1 建模教学策略主要实施步骤 构建模型遵循一定的步骤。本研究以尤斯蒂(R. S. Justi)和吉尔伯特(J. K. Gilbert)于 2002 年提出的建模框架作为理论基础^[5]。建模教学的步骤主要包括:①明确模型构建目的;②选择和使用合理的模型表征方式;③构建模型;④检验和评价模型;⑤修正模型。

以上 5 个步骤贯穿建模教学的每个建模活

表 1 建模教学策略适用范围(以“遗传与进化”为例)

章节	教学内容	建模教学策略适用的理由
第 1 章 第 1 节	孟德尔的豌豆杂交实验(一) 建模主要聚焦:杂交 F ₂ 中 3:1 的性状分离比和测交实验 1:1 的性状分离比	教学内容涉及比较抽象的数学关系,通过建模(主要构建数学模型)可帮助学生准确描述一对相对性状杂交实验和测交实验的发生过程,帮助学生正确解释分离定律
第 1 章 第 2 节	孟德尔的豌豆杂交实验(二) 建模主要聚焦:杂交 F ₂ 中 9:3:3:1 的性状分离比和测交实验 1:1:1:1 的分离比	教学内容涉及比较抽象的数学关系,通过建模(主要构建数学模型)可帮助学生准确描述两对相对性状杂交实验和测交实验的发生过程,帮助学生正确解释自由组合定律
第 2 章 第 1 节	减数分裂和受精作用 建模主要聚焦:精子的形成过程,卵细胞的形成过程	精子和卵细胞形成过程具有步骤复杂、多因素(染色体和 DNA 数量等)变化、易与有丝分裂混淆等特点,通过构建精子和卵细胞形成过程的动态模型,可帮助学生准确描述和科学解释、归纳减数分裂
第 2 章 第 3 节	伴性遗传 建模主要聚焦:人类红绿色盲症遗传特点	红绿色盲症遗传特点涉及性染色体和显、隐性基因的分析,较为复杂。通过对红绿色盲症案例的资料分析,逐步构建红绿色盲遗传规律的模型,帮助学生科学解释该病症的遗传学原因,以及帮助学生运用模型呈现的规律对患病家族后代基因型和性状进行预测
第 3 章 第 2 节	DNA 分子的结构 建模主要聚焦:DNA 双螺旋结构	DNA 双螺旋结构复杂,并影响后续 DNA 分子复制和表达等内容的学习。通过构建该模型,可帮助学生准确描述 DNA 分子的组成成分和特点,以及为科学解释 DNA 复制和表达等过程奠定基础
第 3 章 第 3 节	DNA 的复制 建模主要聚焦:DNA 分子复制过程	DNA 分子复制过程包含多个步骤,且每个步骤涉及不同的酶类等,过程复杂。通过构建 DNA 分子复制动态模型,可帮助学生准确描述 DNA 分子复制的细节过程,并深刻理解和科学解释 DNA 分子半保留复制方式
第 4 章 第 1 节	基因指导蛋白质的合成 建模主要聚焦:遗传信息的转录和翻译	遗传信息的转录和翻译涉及多个步骤,每个步骤涉及不同酶类和参与成分,过程复杂、知识零碎。通过构建遗传信息转录和翻译过程的动态模型,可帮助学生从整体上准确描述过程细节,以及归纳解释基因如何指导蛋白质合成
第 6 章 第 2 节	基因工程及其应用 建模主要聚焦:基因工程操作的基本步骤	基因工程操作涉及多个步骤,尤其是用限制酶切断 DNA 和用连接酶连接目的基因这 2 个步骤,不易理解。通过构建基因工程操作基本步骤的动态模型,帮助学生简要描述操作的 4 个步骤,重点描述 DNA 的切割和连接过程,帮助学生解释基因工程的基本原理
第 7 章 第 2 节	种群基因频率的改变与生物进化 建模主要聚焦:种群基因频率的变化	种群基因频率的变化涉及相对复杂的数学关系,需有效的教学方法帮助学生理解。可基于自然选择对种群基因频率变化产生影响等问题和数据,引导学生构建基因和基因型频率变化的曲线图等数学模型,帮助学生解释和预测种群基因频率的变化,以及解释种群基因频率变化与生物进化的关系

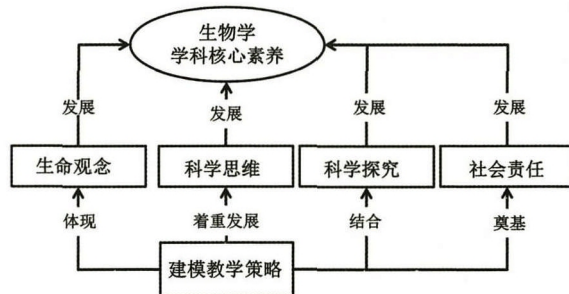
动,并呈现先后的逻辑顺序。首先,明确模型构建目的。这要求建模者能全面理解模型的功能,从而确定构建模型的作用和目的。模型的功能主要包括描述、解释和预测^[6]。模型可用于描述难以直接观测到的太大或太小及人工难以控制的事物或现象,可用于解释事物发生的原因和机理,还可用于预测事物的发展趋势^[5]。基于以上3个功能,建模者就容易理解构建模型并非是手工制作,而是为了帮助人们描述、解释或预测事物和现象,从而更有目的性、针对性地构建模型。第2,选择和使用合理的模型表征方式。在明确模型构建目的后,需将模型用合理的方式呈现。常见的表现形式有实物、视觉、符号、语言和行为手势等,并可将不同的形式自由组合,从而更全面多样化地表现模型^[7-8]。第3,构建模型。在此过程中,教师需聆听并可参与学生的讨论,及时发现学生的疑问和困惑,有助于后续建模教学的顺利开展。第4,检验和评价模型。建模完成后,需基于一定的评价标准审视该模型。促使建模者反思模型和模型所表征事物之间的关系是否科学正确,有助于建模者真正地理解和运用知识,并表达自己的观点。第5,修正模型。基于模型评价产生的优、缺点或改进建议,对模型进行修改或更新从而最终达成建模目的。教师将以上5个步骤渗透和融入到建模教学设计中,在帮助学生完成建模的同时,也促使学生获得知识和能力,提升科学素养。

建模的5个步骤并非完全单向线性,而是可循环往复的。如若在第3步构建过程中发现模型的表征方式不合理,可返回第2个步骤,重新思考选择合理的模型表征方式。

1.2 建模教学策略适用范围示例 值得注意的是,建模教学策略虽使学生受益,但并非所有高中生物学内容都需或适合运用建模教学。研究者认为应从模型的功能视角衡量是否使用建模教学策略。当教学内容运用建模的方法有助于学生更好地描述、解释和预测事物或现象时,教师可考虑使用该策略。研究者以人教版高中生物学《遗传与进化》为例,整理归纳该模块适合建模教学的主要内容,并给出详细理由,以期为广大生物学教师的教学提供有效参考(上页表1)。

2 建模教学策略发展学生生物学学科核心素养

建模教学策略通过鼓励学生基于科学问题动手动脑构建模型,在促进其理解知识形成过程的基础上,着重发展学生模型与建模等科学思维,提高了其运用科学思维解决实际问题的能力。与此同时,基于不同教学内容,建模教学策略也在不同程度上体现了生命观念,结合科学探究,并为社会责任形成奠定基础,最终为促进学生生物学学科核心素养的达成添砖加瓦(图1)。本文以“DNA分子的结构”为例,阐述建模教学在发展生物学学科核心素养中的具体操作和价值。



2.1 建模教学着重发展科学思维 建模教学策略鼓励学生在尊重生物学事实和证据的基础上,运用建模思维和方法,探讨和阐释有关生命现象及规律。本文主要阐述模型和建模思维在建模教学中的运用和发展。由于DNA分子结构的复杂性和组成要素多样性,此模型的构建遵循由浅入深,由易到难的渐进原则。脱氧核苷酸是DNA分子的基本组成单位,众多脱氧核苷酸这一基本单位构成脱氧核苷酸单链,之后2条单链通过碱基配对等形成DNA分子的平面结构,最后通过旋转形成双螺旋的空间结构。因此,建模时从构建脱氧核苷酸模型入手,依次分别构建脱氧核苷酸长链模型、DNA分子平面结构模型、DNA分子立体结构(双螺旋结构)模型。前文所述建模的5个步骤均在这些模型的构建中体现。本文以2个模型为例进行说明。

首先,在构建脱氧核苷酸基本单位模型时,教师第1步应引导学生明确建模目的,即构建此模型是为了能准确描述脱氧核苷酸的基本组成要素,为后续建模打下基础。教师可引导学生回顾《分子与细胞》模块所学的“遗传信息的携带者——

核酸”一节内容,重温组成 DNA 分子的基本单位脱氧核苷酸,这是建模的依据和证据。第 2 步,需考虑选择和使用何种模型表征方式。为节约课堂时间,教师可将提前准备好的材料发放给学生。例如,用球形塑料片代表磷酸、五边形塑料片代表脱氧核糖、4 种不同颜色的长方形塑料片代表 4 种碱基等。同时向学生介绍如何在建模时选择模型表征方式,即学生应明白为何使用这些材料,以及用何种材料将它们连接才是合理的。第 3 步,学生分小组进行建模活动。在此过程中,教师需留意学生的活动操作和讨论内容,及时反馈和纠正学生出现的错误理解和认知。第 4 步,检验和评价模型。教师评价学生的模型,并鼓励学生互评,检验和评价模型遵循一定的标准,对于此模型而言,着重关注脱氧核苷酸组成结构的连接位置是否出现错误。对出现错误的模型提出修改意见,帮助学生形成对脱氧核苷酸的正确认知。第 5 步,修正模型。教师通过控制管理课堂时间,鼓励学生在短时间内修正原有错误模型,形成科学合理的脱氧核苷酸模型。

其次,在构建脱氧核苷酸单链模型时,第 1 步,教师先引导学生明确建模目的是为了准确描述 2 个脱氧核苷酸在什么部位,并以何种化学键

的形式相互连接成长链。教师可展示科学家关于单链形成的研究资料,作为建模依据。第 2 步,基于建模材料,引导学生思考:①2 个脱氧核苷酸在什么部位相互连接成长链?②如何表现相互连接的部位和连接方式?引导学生选择自己认为合理的建模材料,即模型表现方式。第 3 步,依据选择的材料,学生分小组合作制作一条 DNA 单链。在此过程中,对于可能出现的磷酸二酯键连接位置错误等问题,教师应给予及时反馈。在讨论过程中,理论和实践不断碰撞,学生的科学思维得以发展。第 4 步,建模完成后,教师评价学生的模型,并引导不同小组间互评。通过评价,学生可清楚地认识到脱氧核苷酸间的连接位置及磷酸二酯键(上一个脱氧核苷酸的脱氧核糖 3 号糖与下一个脱氧核苷酸的磷酸连接形成的化学键)。模型不正确的学生可修正自己的模型,加深理解,完成建模的第 5 步。

建模思维的 5 个步骤同样适用于构建 DNA 分子平面结构模型和立体结构模型,在此不加赘述。需要特别指出的是,模型的评价标准不仅仅是正确或错误如此简单,它是多维度的,并与教学内容紧密相关。在 DNA 分子双螺旋结构模型构建完成后,评价模型需考虑如下几点(表 2)。

表 2 DNA 分子双螺旋结构模型评价标准

序号	评价标准	具体释义
1	是否科学	1)脱氧核苷酸基本单位的组成结构是否科学;2)脱氧核苷酸单链的连接部位和方式是否科学;3)碱基间氢键连接(A 与 T 2 个氢键,C 与 G 3 个氢键)的配对情况是否科学;4)双螺旋结构是否科学;5)DNA 分子各个组成成分的大小比例是否科学
2	是否清晰	1)模型是否清晰地包含 DNA 分子结构的必要组成成分;2)模型是否有信息欠缺或冗余
3	模型的表现形式是否合理	模型的表现形式(如材料选择等)是否合理,从而帮助模型表现 DNA 分子的结构
4	是否符合学生认知	DNA 分子模型是否符合高中中段学生的认知水平,即是否太难或太简单
5	是否达成建模目的	模型是否能帮助学生准确描述脱氧核苷酸基本单位的构成、脱氧核苷酸单链的连接位置、碱基对的排列顺序,以及双螺旋结构等,从而帮助学生真正理解 DNA 分子的结构
6	是否具有艺术性	DNA 分子双螺旋模型是否美观,便于学生识别和理解
7	是否具有实用性	DNA 分子模型是否便于拆装和保存,以便学生后续巩固复习
8	是否具有创造性	模型除呈现 DNA 分子双螺旋结构外,可否创造性地为后续 DNA 分子复制和转录的学习提供参考

以上 8 条标准与建模的 5 个步骤密切相关,且具有普适性,适合评价高中及初中生物学教学中构建的诸多模型,教师应基于不同的教学内容,修改和完善每条标准所对应的具体释义。只有以具体教学内容为依托,针对每条标准制定详细的

说明,模型评价才具有针对性和实用性,而不是形式化。此外,教师在实际教学中还可对上述每条标准赋分,根据 8 条标准的最后得分情况,判断学生建模的质量,从而有助于改进和提高建模教学的成效。

除了在建模的5个步骤中逐步发展科学思维,建模教学应充分尊重生物学事实和证据,这是发展科学思维的重要保障。建模不是按部就班将一个模型构建完成即可,而是重在构建过程对证据等的思考和评估,并基于新的证据修改完善模型。DNA分子结构模型正是在科学不断发展、新证据不断产生的基础上逐步构建的。与此相关的DNA分子结构建模教学,也正是通过教师出示多种证据资料,逐步引导学生构建科学合理的模型。

2.2 建模教学促进核心素养其他方面的发展

建模教学还促进生命观念、科学探究,以及社会责任这3个方面科学素养的发展。首先,建模教学策略有助于学生生命观念的形成。“DNA分子的结构”一节内容中DNA分子的结构与DNA分子的功能(复制和表达)密切相关,并为学生理解和掌握基因工程等内容打下良好的理论基础,因此主要体现结构和功能观。教师在进行建模教学设计时可在多处渗透和体现这种生命观念。第1,在课堂导入环节,教师可引导学生思考:DNA是主要的遗传物质,DNA应具备怎样的结构才能作为遗传物质行使遗传功能。这样的问题引导看似简单,实则可帮助学生思考结构和功能的相互关系。第2,在构建DNA分子的平面结构模型时,由于不同小组模型的碱基对排列顺序不尽相同,教师可引导学生思考和讨论如下问题:①DNA分子中的遗传信息蕴藏在哪儿?②比较不同组的DNA模型在此方面有何不同?通过这样的教学活动,学生容易理解DNA分子的遗传信息蕴藏在碱基对的排列顺序中,不同的碱基对排列顺序传递不同的遗传信息,即不同的结构产生不同的功能。第3,在构建DNA分子空间结构模型时,教师可引导和鼓励学生尝试构建正向平行和反向平行的双螺旋,通过试误和对比,加深对反向平行结构与DNA分子复制相关联的理解,进一步体现结构和功能观。

其次,建模教学策略与科学探究相结合。《普通高中生物学课程标准(2017年版)解读》提出在科学探究活动中,人们提出自己的问题、计划、设计并开展科学探究活动回答其中的一些问题^[9]。关于DNA分子是何种结构这一问题,教师在建模教学时引导学生基于实验证据逐步探索构建模型,从而得到DNA分子结构这个问题的答案,即学生通过建模活动亲身体会了科学家是如何探究DNA

分子结构的,能较好地理解科学探究的过程。此外,建模教学还可传递沃森和克里克分工合作、善于综合多学科知识、锲而不舍的科学探究精神。

最后,建模教学策略为学生社会责任的形成奠定基础。社会责任主要是指教学能使将生物学的概念和原理作为观察和思考社会性议题的视角和立场,能用生物学的观念和规律对问题或议题进行判断等^[9]。近年一些热门的社会性议题与DNA有关,例如,转基因技术。转基因技术的主要步骤涉及DNA复制及转录表达等基本概念和原理。由于DNA分子的复制涉及双螺旋解开、互补碱基间的氢键断裂等过程,只有科学准确地理解DNA分子双螺旋结构,才可能很好地理解DNA分子的复制。同样地,理解DNA分子结构也是理解DNA转录的重要基础。可以说,“DNA分子的结构”一节的建模教学设计若能为学生深入理解DNA打下良好基础,则有助于学生理解和解释与DNA有关的转基因技术等社会性议题,长远来看则是为学生社会责任的形成奠基。

主要参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部.普通高中生物学课程标准(2017年版).北京:人民教育出版社,2018.
- [2] Schwarz C V, Reiser B J, Davis E A, et al. Developing a learning progression for scientific modeling: making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 2009,46(6):632.
- [3] National Research Council (NRC). A framework for K-12 science education: practices, crosscutting concepts, and core ideas. Washington, DC: The National Academies Press, 2012.
- [4] 赵萍萍,刘恩山.生物学建模教学研究进展及启示.生物学通报,2015,50(1):19.
- [5] Justi R S, Gilbert J K. Modelling, teachers' views on the nature of modeling, and implications for the education of modelers. *International Journal of Science Education*, 2002,24(4):369.
- [6] 赵萍萍,刘恩山.中学生物学中的类比模型及其构建.中学生物教学,2015(11):4.
- [7] Gilbert J K, Boulter C J, Rutherford M. Explanations with models in science education. In J K Gilbert & C J Boulter (Eds.), *Developing models in science education*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [8] Buckley B C, Boulter C J. Investigating the role of representations and expressed models in building mental models. In J K Gilbert & C J Boulter (Eds.), *Developing models in science education*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [9] 刘恩山,曹保义.普通高中生物学课程标准(2017年版)解读.北京:高等教育出版社,2018.

(E-mail:liues@bnu.edu.cn)